

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/081616 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01F 41/04**,
17/00, H01L 21/02

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/02880

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. März 2003 (19.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 12 630.5 21. März 2002 (21.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BUEYUEKTAS**,
Kevni [DE/DE]; Nietzschestr. 26, 80807 München (DE).
KOLLER, Klaus [DE/DE]; Erikastr. 12, 82110 Germer-
ing (DE). **MUELLER, Karlheinz** [DE/DE]; Finkenweg
11, Velden 84149 (DE).

(74) Anwälte: **STÖCKELER, Ferdinand** usw.; Schoppe,
Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, Postfach 246, 82043
Pullach bei München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

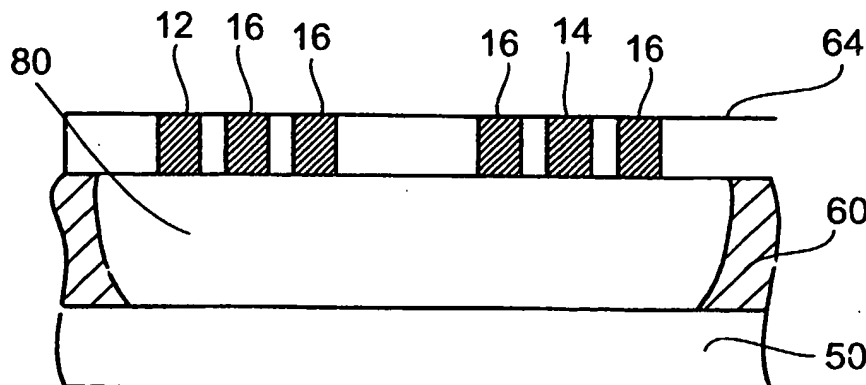
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: COIL ON A SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: SPULE AUF EINEM HALBLEITERSUBSTRAT UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG



(57) Abstract: A coil device comprises a coil conductor track (10), a semiconductor substrate (50) and a dielectric layer (60) arranged on the semiconductor substrate (50), whereby at least a part of the coil conductor track (10) is arranged over a recess (80) in the dielectric layer (60).

(57) Zusammenfassung: Eine Spuleneinrichtung umfasst eine Spulenleiterbahn (10), ein Halbleitersubstrat (50) und eine auf dem Halbleitersubstrat (50) angeordnete Dielektrikumschicht (60), wobei zumindest Teile der Spulenleiterbahn (10) über einer Ausnehmung (80) in der Dielektrikumschicht (60) angeordnet sind.

WO 03/081616 A1

Beschreibung

Spule auf einem Halbleitersubstrat und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Spule an einem Halbleitersubstrat, insbesondere auf eine Spule mit hoher Güte sowie auf ein Verfahren zum Herstellen derselben.

- 10 Viele integrierte Halbleiterbausteine bzw. Halbleiterchips enthalten Spulen. Bei der Herstellung eines Halbleiterbausteins wird an einer Oberfläche eines Siliziumsubstrats eine Bauelementschicht erzeugt, die eine Mehrzahl von Dioden, Transistoren oder anderen Halbleiterbauelementen aufweist.
- 15 Über der Bauelementschicht werden mehrere Verdrahtungsschichten erzeugt, die metallische Verdrahtungsleiterbahnen zur Verdrahtung der Bauelemente aufweisen und darüber hinaus Kondensatoren, Spulen etc. enthalten können. Zwischen den Verdrahtungsschichten sind elektrisch isolierende Intermetall-
- 20 Dielektrikumschichten zu elektrischen Isolierung der Verdrahtungsleiterbahnen angeordnet. Spulen werden in oder auf den Verdrahtungsschichten in Form von spiralförmigen Leiterbahnen erzeugt, die mehrere Spiralwindungen und verschiedene Geometrien aufweisen können, wobei die Enden der Spule als Eingang
- 25 und Ausgang elektrisch kontaktiert werden. Das Material der Spulenleiterbahn kann wie auch das Material der Verdrahtungsleiterbahnen Aluminium, Aluminiumlegierungen, Kupfer oder andere leitfähige Materialien, insbesondere Metalle, aufweisen.
- 30 Besonders bei Hochfrequenzanwendungen ist die Güte einer der wichtigsten Parameter einer Spule und sollte möglichst hoch sein. Die Spulengüte wird durch alle Leistungsverluste der Spule bestimmt, d. h. unter anderem durch den elektrischen Widerstand der Spulenleiterbahn, so daß durch die Wahl des
- 35 Materials der Spulenleiterbahn bzw. der die Spule bildenden leitfähigen Schicht die Spulengüte beeinflußt werden kann. Ferner wird die Güte einer Spule wesentlich von einer Kopp-

lung der Spule an umgebende Materie beeinflußt. Um Hochfrequenzspulen mit hoher Güte zu erzeugen, wird deshalb allgemein versucht, diese durch Substratankopplung hervorgerufenen Verluste zu verringern.

5

Eine Möglichkeit, die Spulengüte zu verbessern, besteht darin, bei Verwendung eines Siliziumsubstrats durch die Wahl der Dotierung des Siliziumsubstrats die Verluste zu reduzieren bzw. zu minimieren. Die Dotierung des Siliziumsubstrats kann jedoch in vielen Fällen nicht frei gewählt werden, da sie in der Regel gleichzeitig mit weiteren Eigenschaften des Siliziumsubstrats, beispielsweise mit seiner Eignung für bestimmte Bauelemente oder Anordnungen von Bauelementen, verknüpft ist.

15 Eine weitere Möglichkeit der Verbesserung der Spulengüte besteht darin, zwischen der Spule und dem Substrat eine Abschirmung einzubauen. Dies ist jedoch in der Regel aufwendig und mit erheblichen Mehrkosten in der Herstellung verbunden und deshalb für viele Anwendungen nicht geeignet.

20

Hinzu kommt, daß sowohl durch die Wahl der Dotierung des Siliziumsubstrats als auch durch einen Einbau einer Abschirmung nur eine geringfügige Verbesserung der Spulengüte erreicht werden kann.

25

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Siliziumsubstrat unter der Spule zu entfernen. Auch dies erfordert jedoch aufwendige und kostenintensive zusätzliche Schritte im Herstellungsprozeß.

30

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine einfachere Spuleneinrichtung mit einer hohen Güte bzw. ein vereinfachtes Verfahren zur Herstellung einer Spule mit einer hohen Güte zu schaffen.

35

Diese Aufgabe wird durch eine Spuleneinrichtung gemäß Anspruch 1 bzw. ein Verfahren gemäß Anspruch 7 gelöst.

Eine Spuleneinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt eine Spulenleiterbahn, ein Halbleitersubstrat und eine auf dem Halbleitersubstrat angeordnete Dielektrikumschicht, wobei zumindest Teile der Spulenleiterbahn über einer Ausnehmung in der Dielektrikumschicht angeordnet sind.

Ein Verfahren zum Herstellen einer Spule an einem Halbleitersubstrat umfaßt einen Schritt des Erzeugens einer Dielektrikumschicht auf dem Halbleitersubstrat, einen Schritt des Erzeugens einer Spulenleiterbahn auf der Dielektrikumschicht und einen Schritt des Erzeugens einer Ausnehmung in der Dielektrikumschicht zwischen der Spulenleiterbahn und dem Halbleitersubstrat.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß unter der Spule liegende Dielektrikumschichten großen Einfluß auf die Kopplung einer Spule an umgebende Materie und damit auf ihre Güte haben. Über parasitäre Kapazitäten werden Ströme im Halbleitersubstrat induziert, die eine ohmsche Heizung des Substrats bewirken und so dem elektromagnetischen Wechselfeld der Spule Leistung entziehen. Je geringer die Kopplung der Spule an das Substrat ist, desto geringer ist folglich die durch die Spule im Substrat deponierte Verlustleistung und desto höher ist die Güte der Spule. Durch gezieltes Entfernen von isolierenden Schichten unterhalb der Spule kann dort eine Permittivitätszahl nahe 1, d. h. entsprechend der von Luft, erzielt werden.

Die parasitären Kapazitäten werden vor allem durch die Dielektrikumschichten bestimmt, die meist eine Dielektrizitätskonstante (DK) bzw. Permittivitätszahl ϵ_r deutlich über 2 aufweisen. Bei Verwendung von oxidischen Schichten, die durch plasmaunterstützte Gasphasenabscheidung hergestellt werden, liegt ϵ_r zwischen 3 und 4. Eine Verbesserung der Spulengüte ist deshalb auch durch Verwendung von organischen Materialien

mit einer geringeren Permittivitätszahl ϵ_r in den Dielektrikumschichten erzielbar.

Aufgrund der Ausnehmung ist bei der erfindungsgemäßen Spuleneinrichtung bzw. bei der erfindungsgemäß hergestellten Spule die elektromagnetische Kopplung zwischen der Spule und dem Substrat wesentlich verringert, woraus geringere Substratverluste und eine verbesserte Spulengüte folgen. Bei ersten Messungen wurde eine Verbesserung der Spulengüte um bis zu 100 % festgestellt.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die Spuleneinrichtung kostengünstig und effizient mit Standardprozessen der Halbleiterfertigung hergestellt werden kann bzw. daß das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren mit Standardprozessen durchführbar ist und deshalb einfach und leicht in eine Halbleiterfertigung integrierbar ist.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß aufgrund der deutlich reduzierten parasitären Kapazitäten der Resonanzschwingungsfrequenzbereich angehoben werden kann. Dadurch erweitert sich das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten einer erfindungsgemäßen Spuleneinrichtung bzw. einer erfindungsgemäß hergestellten Spule gegenüber einer herkömmlichen Spule in erheblichem Maße. Zusätzlich ergibt sich für den Bereich der Güte Q ein um einen Faktor 2 breitbandigerer Frequenzbereich (Plateau in der Frequenzabhängigkeit der Güte).

Eine besonders bevorzugte Anwendung findet die Erfindung in Zusammenhang mit hochintegrierten Bipolar-, BiCMOS- oder CMOS- Prozessen.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie aufgrund der beschriebenen Verbesserungen bereits bestehenden Spulendesigns bzw. Spulenbauarten einen wesentlich breiteren Einsatzbereich eröffnet, ohne zusätzliche Anpassungen von Layout oder Materialeigenschaften zu erfordern.

Bevorzugte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung werden in den Unteransprüchen definiert.

- 5 Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

10 Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf eine Spulenleiterbahn einer Spuleneinrichtung gemäß einem ersten bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

15 Fig. 2A schematische Schnittdarstellungen der Spule aus bis 2C Fig. 1;

20 Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf eine Spulenleiterbahn einer Spuleneinrichtung gemäß einem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung der Spule aus Fig. 3;

25 Fig. 5A eine schematische Schnittdarstellung einer Spule gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

30 Fig. 5B eine schematische Schnittdarstellung einer Spule gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

35 Fig. 6 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens in einem Flußdiagramm; und

Fig. 7 eine schematische Darstellung der Resonanzschwingungsfrequenzbereiche einer erfindungsgemäßen Spule und einer herkömmlichen Spule.

5 Fig. 1 ist eine schematische Draufsicht einer Spule gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Spule wird durch eine Spulenleiterbahn 10 mit mehreren Abschnitten 12, 14, 16, die näherungsweise in Form von Teilabschnitten regelmäßiger Achtecke konzentrisch zueinander angeordnet sind, gebildet. Der erste Abschnitt 12 der Spulenleiterbahn 10 umfaßt an einem ersten Ende 12a einen ersten Kontaktierbereich 20. Ein zweites Ende 12b des ersten Abschnitts ist in einem ersten Kreuzungsbereich 24 über ein erstes Verbindungsstück 26 mit einem ersten Ende 14a des
10 zweiten Abschnitts elektrisch leitfähig verbunden, wobei das erste Verbindungsstück 26 den dritten Abschnitt 16 kreuzt und von diesem durch eine nicht dargestellte Isolierschicht elektrisch isoliert ist. In einem zweiten Kreuzungsbereich 30 ist ein zweites Ende 14b des zweiten Abschnitts 14 über ein
15 zweites Verbindungsstück 32 mit einem ersten Ende 16a des dritten Abschnitts 16 elektrisch leitfähig verbunden, wobei das zweite Verbindungsstück 32 den dritten Abschnitt 16 kreuzt und von diesem durch eine nicht dargestellte Isolierschicht elektrisch isoliert ist. Ein zweites Ende 16b des
20 dritten Abschnitts 16 ist als ein zweiter Kontaktierbereich 36 ausgebildet. Der erste Abschnitt 12, das erste Verbindungsstück 26, der zweite Abschnitt 14, das zweite Verbindungsstück 32 und der dritte Abschnitt 16 bilden zusammen die Spulenleiterbahn 10, die in drei Windungen um das Innere.
25 der Spulenleiterbahn 10 gewunden ist.
30

Die Fig. 2A bis 2C zeigen schematische Darstellungen eines vertikalen Schnitts entlang der Linie I-II in Fig. 1 während einer Herstellung einer Spule mit der Spulenleiterbahn 10 über einem Halbleitersubstrat 50.
35

An einer ersten Oberfläche 52 des Halbleitersubstrats 50 werden zunächst eines oder mehrere nicht dargestellte Bauelemente erzeugt, beispielsweise Dioden oder Transistoren. Zur Verdrahtung der Bauelemente an der Oberfläche 52 des Substrats 50 werden anschließend eine oder mehrere Verdrahtungsschichten über der Oberfläche 52 gebildet. Jede Verdrahtungsschicht besteht aus einer oder mehreren Verdrahtungsleiterbahnen. Jede Verdrahtungsleiterbahn, die nicht direkt auf der Oberfläche 52 des Substrats 50 gebildet ist, ist an einer Oberfläche einer Intermetall-Dielektrikumschicht gebildet, die Verdrahtungsleiterbahnen verschiedener Verdrahtungsschichten elektrisch voneinander isoliert. Zur elektrischen Verbindung zweier Verdrahtungsleiterbahnen in benachbarten Verdrahtungsschichten wird ein Durchgangslochleiter gebildet, der in der dazwischenliegenden Intermetall-Dielektrikumschicht und senkrecht zu derselben angeordnet ist. Im Sinn einer einfachen und übersichtlichen Darstellung werden die Intermetall-Dielektrikumschichten über der Oberfläche 52 des Substrats 50 im folgenden summarisch als Dielektrikumschicht 60 bezeichnet und dargestellt, wobei auf eine Darstellung von Verdrahtungsleiterbahnen und Durchgangslochleitern verzichtet wird. Dabei ist es für die vorliegende Erfindung unerheblich, ob die Dielektrikumschicht 60 aus einer oder mehreren Intermetall-Dielektrikumschichten besteht, und ob sie Verdrahtungsleiterbahnen enthält oder nicht.

Auf einer von dem Substrat 50 abgewandten Oberfläche 62 der Dielektrikumschicht 60 wird schließlich die Spulenleiterbahn 10 gebildet. Es resultiert der in Fig. 2A dargestellte Zustand. Die Linie 64 deutet dabei eine Hintergrundstruktur an.

Anschließend wird eine Maske 70, beispielsweise eine Photoackmaske, auf der Oberfläche 62 der Dielektrikumschicht 60 gebildet, welche im Bereich der Spulenleiterbahn 10 eine Öffnung 72 aufweist. Es resultiert der in Fig. 2B dargestellte Zustand.

Die Öffnung 72 der Maske 70 definiert den Wirkungsbereich eines nachfolgenden Ätzschrittes, wobei alle durch die Maske 70 bedeckten Bereiche der Dielektrikumschicht 60 vor einer Einwirkung des Ätzmediums geschützt sind. In dem Ätzschritt wird
5 mittels einer isotropen Ätzung oder einer Kombination einer anisotropen und einer isotropen Ätzung ein Hohlraum bzw. eine Ausnehmung 80 unter der Spulenleiterbahn 10 erzeugt. Als Ätzverfahren kommen beispielsweise naßchemische Ätzverfahren oder plasmaunterstützte chemische Trockenätzverfahren in Betracht. Dabei erfolgt die Ätzung vorzugsweise selektiv sowohl
10 gegenüber der Maske 70 als auch gegenüber der Spulenleiterbahn 10, d. h. das Ätzverfahren wird so gewählt, daß weder die Maske 70 noch die Spulenleiterbahn 10 in nennenswertem Umfang abgetragen werden. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, eine zusätzliche Schicht über der Spulenleiterbahn
15 10 abzuscheiden, um diese während des Ätzschritts zu schützen. Nach der Erzeugung der Ausnehmung 80 wird die Maske 70 wieder entfernt. Es resultiert der in Fig. 2C dargestellte Zustand.

20 In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt wird die die Spulenleiterbahn 10 bildende leitfähige, spiralförmige Metallschicht mit einer Passivierungsschicht 84 versehen, die vorzugsweise die gesamte Oberfläche der Spulenleiterbahn 10 bedeckt bzw. die Spulenleiterbahn 10 ummantelt. Die Passivierungsschicht wird vorzugsweise mittels einer plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung als Oxid- oder Nitridschicht erzeugt und dient als Korrosionsschutz für die Spulenleiterbahn. Abschließend wird die Passivierungsschicht in den Kontaktierbereichen 20, 36 wieder entfernt, um die Spulenleiterbahn 10 freizulegen und für eine elektrische Kontaktierung
30 zugänglich zu machen.

35 Um auch nach Bildung der Ausnehmung 80 eine mechanische Verbindung zwischen dem Substrat 50 und der Spulenleiterbahn 10 zu gewährleisten, können beispielsweise die laterale Ausdehnung der Öffnung 72 und damit die resultierende laterale Aus-

dehnung der Ausnehmung 80 so gewählt werden, daß sich die Ausnehmung 80 nicht unter der gesamten Spulenleiterbahn 10 erstreckt, sondern vielmehr die Dielektrikumschicht 60 unter einem Teil der Spulenleiterbahn 10 erhalten bleibt, bei-
5 spielsweise unter den Kontaktierbereichen 20, 36 oder den Kreuzungsbereichen 24, 30.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden mechanischen Stabilität der Spulenleiterbahn weist diese vorzugsweise ein steifes
10 Material auf.

Eine alternatives Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Spuleneinrichtung ist in den Fig. 3 und 4 dargestellt. Das Substrat dieser Spuleneinrichtung unterscheidet sich von dem
15 anhand der Fig. 1 und 2 dargestellten dadurch, daß zwischen dem Substrat 50 und der Dielektrikumschicht 60, d. h. auf der Oberfläche 52 des Substrats 50, eine elektrisch isolierende Feldoxidschicht (FOX) vorgesehen ist.

20 Fig. 3 ist eine schematische Draufsicht des alternativen Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung. Die Spulenleiterbahn 10 weist in diesem Ausführungsbeispiel den gleichen Aufbau auf wie in dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel. Ein Unterschied besteht jedoch darin, daß bei dem in
25 Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel unter der Spulenleiterbahn 10 Stützstellen bzw. Stützeinrichtungen 90 vorgesehen sind, die die Spulenleiterbahn 10 mechanisch mit der ganzflächigen Feldoxidschicht verbunden sind.

30 Fig. 4 ist eine schematische Darstellung eines Schnitts durch die Spulenleiterbahn 10, die von einer Passivierungsschicht 84 umgeben ist, und die Stützeinrichtungen 90 entlang der Linie III-IV in Fig. 3. Anders als in dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel ist an der Oberfläche 52 des Substrats 50 die
35 ganzflächig aufgebrachte Feldoxidschicht 82 vorgesehen, über der eine Dielektrikumschicht 60 angeordnet ist. Die Spulenleiterbahn 10 ist über einer Ausnehmung 80 in der Dielektri-

kumschicht 60 angeordnet. In der Schnittdarstellung ist zu erkennen, daß die Stützeinrichtungen 90 in der Ausnehmung 80 so angeordnet sind, daß sie mechanische Verbindungen zwischen dem Substrat 50 bzw. der Feldoxidschicht 82 einerseits und der Spulenleiterbahn 10 andererseits herstellen. Da die Feldoxidschicht 82 ein elektrisch isolierendes Material aufweist, verhindert sie einen elektrischen Kurzschluß zwischen der Spulenleiterbahn 10 und dem Substrat.

Die Stützeinrichtungen 90 werden vorzugsweise bereits bei der Erzeugung der Dielektrikumschicht 60 als Stapel von jeweils übereinander angeordneten Durchgangslochleitern 92 und Verdrahtungsleiterstücken 94 gebildet. Die Durchgangslochleiter 92 und die Verdrahtungsleiterstücke 94 der Stützeinrichtungen 90 werden gemeinsam und gleichzeitig mit nicht dargestellten Durchgangslochleitern und Verdrahtungsleitern, die zur Verdrahtung von Bauelementen in dem Substrat 50 vorgesehen sind, gebildet. Die Bildung der Stützeinrichtungen 90 erfordert somit keinerlei zusätzliche Arbeitsschritte, sondern lediglich eine einfache Modifikation der für die Erzeugung von Durchgangslöchern und Verdrahtungsleitern verwendeten Masken. Dabei sind die die Stützeinrichtungen 90 bildenden Verdrahtungsleiterstücke 94 im einfachsten Falle kleine quadratische oder kreisförmige Inseln.

Die Stützeinrichtungen 90 sind dann notwendig und vorteilhaft, wenn aufgrund der Geometrie der Spulenleiterbahn 10 und/oder aufgrund der mechanischen Eigenschaften der verwendeten Materialien ohne die Stützeinrichtungen 90 eine Verformung der Spulenleiterbahn 10 möglich wäre. Die Stützeinrichtungen 90 verhindern eine Verformung der Spulenleiterbahn 10 zu dem Substrat 50 hin oder von ihm weg aufgrund von elektrostatischen oder magnetischen Kräften oder aufgrund mechanischer Einwirkungen von außen.

Um zu vermeiden, daß die Spulenleiterbahn 10 über eine Stützeinrichtung 90 mit einem Bauelement in dem Substrat 50 kurz-

geschlossen wird, ist die Feldoxidschicht 82 vorgesehen. Alternativ wird die Anordnung der Stützeinrichtungen 90 so gewählt werden, daß sie an isolierende oder isolierte Bereiche der Oberfläche 52 des Substrats 50 grenzen. Als eine weitere
5 Alternative wird eine elektrisch isolierende Schicht zwischen der Spulenleiterbahn 10 und den Stützeinrichtungen 90 vorgesehen. Eine Isolierung der Stützeinrichtungen 90 gegenüber der Oberfläche 52 des Substrats 50 liegt auch dann vor, wenn die Ausnehmung 80 in der Dielektrikumschicht 60 eine Tiefe
10 aufweist, die geringer als die Dicke der Dielektrikumschicht 60 ist, wenn also, anders ausgedrückt, ein Rest des Materials der Dielektrikumschicht 60 zwischen der Ausnehmung 80 und der Oberfläche 52 des Substrats 50 stehen bleibt, in dem keine Verdrahtungsleiterstücke 94 und Durchgangslochleiter 92 vor-
15 gesehen sind.

Fig. 5A zeigt eine schematische Darstellung eines Schnitts durch eine Spuleneinrichtung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel. Dieses Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von
20 dem ersten Ausführungsbeispiel dadurch, daß unter der Spulenleiterbahn 10 eine Versteifungsschicht 100 vorgesehen ist, die aus einem steiferen Material besteht als die Spulenleiterbahn 10 und zur mechanischen Versteifung und Stabilisierung der Spulenleiterbahn vorgesehen ist. Diese Versteifungsschicht ermöglicht eine Verwendung eines weichen Spulenmaterialien und/oder eine Verwendung einer geringeren Anzahl von
25 Stützeinrichtungen 90 und/oder einen Verzicht auf Stützeinrichtungen 90 und/oder einer größeren Ausnehmung 80. Dadurch entstehen zusätzliche Freiheitsgrade bei Konstruktion und geometrischer Auslegung der Spuleneinrichtung und bei der Auswahl des Materials der Spulenleiterbahn 10.
30

An dem dritten Ausführungsbeispiel ist ferner eine Passivierungsummantelung bzw. Passivierungsschicht 84 dargestellt,
35 die bereits in Fig. 4 gezeigt ist, hier jedoch eine größere Schichtdicke aufweist.

Fig. 5B zeigt eine schematische Darstellung eines Schnitts durch eine Spuleneinrichtung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel. Dieses Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem ersten Ausführungsbeispiel dadurch, daß über der Spulenleiterbahn 10 eine Stützschi-
5 cht 102 vorgesehen ist, die in der Form einer Lochmaske für die Herstellung der Ausnehmung 80 Löcher 104 aufweist, durch die ein Ätzmedium hindurchtreten kann, das die Ausnehmung 80 erzeugt. Die Stützschi-
10 cht 102 weist eine mechanische Stützfunktion auf und verbessert so die mechanische Stabilität der Spulenleiterbahn 10. Anstelle der die Spulenleiterbahn 10 ummantelnden Passivierungsschi-
15 cht 84, die in den Fig. 4 und 5A dargestellt ist, ist über der Stützschi-
20 cht 102 eine Passivierungsschi-
25 cht 106 vorgesehen, deren Dicke vorzugsweise so gewählt ist, daß die Löcher 104 der Stützschi-
30 cht 102 durch die Passivierungsschi-
35 cht 106 geschlossen sind.

Fig. 6 ist ein vereinfachtes Flußdiagramm, das die Herstellung einer Spuleneinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt. Ausgangspunkt 110 des Verfahrens ist ein Siliziumsubstrat, an dessen Oberfläche in einem ersten Schritt 112 beispielsweise Bipolar/CMOS-Schaltungen hergestellt werden. Die Bipolar/CMOS-Bauelemente werden in einem zweiten Schritt mittels Verdrahtungsleiterbahnen in einer oder mehreren Verdrahtungsschichten verdrahtet. Gleichzeitig oder anschließend wird in oder, wie oben beschrieben, auf den Verdrahtungsschichten eine Spule (oder mehrere Spulen) erzeugt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird nun in einem dritten Schritt eine Maske aufgebracht, die einen Bereich an der Spule definiert, in dem die IntermetallDielektrikumschichten in einem Ätzschritt entfernt werden. Nach der Entfernung der Maske wird die Spulenleiterbahn 10 in einem vierten Schritt mit einer Passivierungsschi-
35 cht versehen.

Fig. 7 ist eine schematische Darstellung der Ergebnisse von Messungen der Frequenzabhängigkeit der Güte an einer herkömm-

lichen Spule und einer Spule gemäß der vorliegenden Erfindung. An der Abszisse ist die Betriebsfrequenz f in GHz aufgetragen, an der Ordinate ist die Güte Q aufgetragen. Eine Kurve 130 zeigt die Frequenzabhängigkeit der Güte der herkömmlichen Spule, eine Kurve 140 zeigt die Frequenzabhängigkeit der Güte der Spule gemäß der vorliegenden Erfindung. Es ist zu erkennen, daß beide Spulen bis zu einer Frequenz f von ca. 1 GHz im wesentlichen die gleiche Güte aufweisen. Während jedoch die Güte der herkömmlichen Spule zwischen 2 GHz und 3 GHz ein Maximum bei ca. $Q = 9$ aufweist und sich bei höheren Frequenzen rasch einem Wert von $Q = 1$ nähert, erreicht die Güte der erfindungsgemäßen Spule erst zwischen 6 GHz und 7 GHz ein Maximum, das mit $Q = 19$ mehr als doppelt so groß ist wie die maximale Güte der herkömmlichen Spule. Bei Frequenzen oberhalb von 7 GHz nimmt auch die Güte Q der erfindungsgemäßen Spule ab, beträgt jedoch auch bei der maximalen dargestellten Frequenz von 20 GHz noch ca. das Vierfache der Güte der herkömmlichen Spule. Die erfindungsgemäße Spule ist folglich bei wesentlich höheren Frequenzen verwendbar als die herkömmliche Spule. Dadurch und aufgrund der doppelt so hohen maximalen Güte erschließen sich der erfindungsgemäßen Spule völlig neue Anwendungsgebiete, für die bisher nur wesentlich aufwendiger hergestellte und teurere Spulen geeignet waren.

In den Ausführungsbeispielen wurde die erfindungsgemäße Spule bzw. Spuleneinrichtung auf einem Siliziumsubstrat beschrieben. Sie ist jedoch ebenso gut auf einem GaAs-Substrat oder einem beliebigen anderen Halbleitersubstrat realisierbar.

Ferner muß die Spulenleiterbahn 10 nicht die in den Fig. 1 und 3 gezeigte näherungsweise achteckige Form aufweisen, sondern kann beliebige Formen mit oder ohne Kreuzungsbereichen und eine beliebige Anzahl von Windungen aufweisen. Die Spulenleiterbahn 10 kann ein beliebiges leitfähiges Material aufweisen, wobei Kupfer, Aluminium, Silber und andere Materialien mit hoher spezifischer Leitfähigkeit besonders geeignet sind, um einen geringen elektrischen Widerstand zu erzielen. Anzahl und Anordnung der Stützeinrichtungen 90 sind dabei ge-

gebenenfalls so zu wählen, daß sie eine Verformung der Spulenleiterbahn wirksam verhindern und unter der Spulenleiterbahn am Substrat angeordnete Bauelemente nicht beeinträchtigt werden. Da die effektive oder mittlere Permittivitätszahl $\epsilon_{r, eff}$, die die Ankopplung der Spule an das Substrat wesentlich beeinflusst, um so geringer ist, je weniger Materie zwischen der Spulenleiterbahn 10 und dem Substrat 50 vorhanden ist, werden die Tiefe und die laterale Ausdehnung der Ausnehmung 80 vorzugsweise möglichst groß gewählt. Aufgrund der in Fig. 7 zu erkennenden hervorragenden Wirkung der Ausnehmung auf die Güte der Spule haben jedoch auch kleinere Ausnehmungen, die nur unter einem Teil der Spulenleiterbahn angeordnet sind, bereits eine deutliche Verbesserung der Güte der Spule zur Folge. Statt einer größeren Ausnehmung können auch zwei oder mehrere kleinere Ausnehmungen vorgesehen werden, wobei zwischen den Ausnehmungen verbleibende Bereiche oder Stege der Dielektrikumschicht 60 die Funktion der Stützeinrichtungen 90 übernehmen können.

Der Hohlraum 80 kann am Ende des Herstellungsverfahrens mit einem Material aufgefüllt werden, das eine deutlich niedrigere Permittivitätszahl aufweist als die Dielektrikumschicht 60. Dadurch wird der Vorteil der verringerten Permittivitätszahl mit dem Vorteil einer hohen mechanischen Stabilität verbunden.

Bezugszeichenliste

	10	Spulenleiterbahn	
	12	Abschnitt der Spulenleiterbahn	10
5	14	Abschnitt der Spulenleiterbahn	10
	16	Abschnitt der Spulenleiterbahn	10
	12a	erstes Ende des Abschnitts	12
	14a	erstes Ende des Abschnitts	14
	16a	erstes Ende des Abschnitts	16
10	12b	zweites Ende des Abschnitts	12
	14b	zweites Ende des Abschnitts	14
	16b	zweites Ende des Abschnitts	16
	20	erster Kontaktierbereich	
	24	erster Kreuzungsbereich	
15	26	erstes Verbindungsstück	
	30	zweiter Kreuzungsbereich	
	32	zweites Verbindungsstück	
	36	zweiter Kontaktierbereich	
	40	Inneres der Spulenleiterbahn	10
20	50	Halbleitersubstrat	
	52	Oberfläche des Halbleitersubstrats	50
	60	Dielektrikumsschicht	
	62	Oberfläche der Dielektrikumsschicht	60
	64	Hintergrundstruktur	
25	70	Maske	
	72	Öffnung in der Maske	70
	80	Ausnehmung	
	82	Feldoxidschicht	
	84	Passivierungsschicht	
30	90	Stützeinrichtung	
	92	Durchgangslochleiter	
	94	Verdrahtungsleiterstück	
	100	Versteifungsschicht	
	102	Stützschiicht	
35	104	Loch	
	106	Passivierungsschicht	
	110	Ausgangspunkt	

112 erster Schritt

114 zweiter Schritt

116 dritter Schritt

118 vierter Schritt

5 130, 140 Kurve

10

15

20

25

30

35

Patentansprüche

1. Spuleneinrichtung mit folgenden Merkmalen:

5 einer Spulenleiterbahn (10);

einem Halbleitersubstrat (50); und

10 einer auf dem Halbleitersubstrat (50) angeordneten Dielektrikumschicht (60),

wobei zumindest Teile der Spulenleiterbahn (10) über einer Ausnehmung (80) in der Dielektrikumschicht (60) angeordnet sind oder über Bereichen angeordnet sind, deren Permittivitätszahl geringer ist als die der Dielektrikumschicht.

15 2. Spuleneinrichtung gemäß Anspruch 1, ferner mit einer Stützeinrichtung (90), die in der Ausnehmung (80) angeordnet und mit der Spulenleiterbahn (10) verbunden ist, zum mechanischen Stützen der Spulenleiterbahn (10).

3. Spuleneinrichtung gemäß Anspruch 2, bei der die Stützeinrichtung (90) einen Durchgangslochleiter (92) umfaßt.

25 4. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner mit einer Versteifungsschicht (100), die an einer der Ausnehmung (80) zugewandten Seite der Spulenleiterbahn (10) angeordnet ist.

30 5. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner mit einer Stützschiicht (102), die an einer von der Ausnehmung (80) abgewandten Seite der Spulenleiterbahn (10) angeordnet ist.

35 6. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der eine Tiefe der Ausnehmung (80) gleich einer Dicke der Dielektrikumschicht (60) ist.

7. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner mit einer Passivierungsschicht, die eine Oberfläche der Spulenleiterbahn (10) bedeckt.

5

8. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Spuleneinrichtung eine Hochfrequenzspuleneinrichtung ist.

10 9. Spuleneinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner mit einer elektrisch isolierenden Schicht (82), die zwischen dem Halbleitersubstrat (50) und der Dielektrikumschicht (60) angeordnet ist

15 10. Verfahren zum Herstellen einer Spule an einem Halbleitersubstrat (50) mit folgenden Schritten:

Erzeugen einer Dielektrikumschicht (60) auf dem Halbleitersubstrat (50);

20

Erzeugen einer Spulenleiterbahn (10) auf der Dielektrikumschicht (60); und

25 Erzeugen einer Ausnehmung in der Dielektrikumschicht (60) zwischen der Spulenleiterbahn (10) und dem Halbleitersubstrat (50).

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, bei dem der Schritt des Erzeugens der Ausnehmung (80) folgende Schritte umfaßt:

30

Erzeugen einer Maske (70) auf der Dielektrikumschicht (60), wobei die Maske eine Öffnung (72) aufweist, deren Form eine laterale Form der Ausnehmung (80) bestimmt; und

35 Entfernen der Dielektrikumschicht (60) im Bereich der Öffnung (72) der Maske (60), um die Ausnehmung (80) zu erhalten.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem der Schritt des Entferns einen Schritt des isotropen Ätzens umfaßt.

5 13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, ferner mit einem Schritt des Erzeugens einer Passivierungsschicht auf einer Oberfläche der Spulenleiterbahn (10).

10 14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 13, ferner mit einem Schritt des Erzeugens einer Stützeinrichtung (90) vor dem Erzeugen der Spulenleiterbahn (10),

wobei der Schritt des Erzeugens der Spulenleiterbahn (10) einen Schritt des Verbindens der Spulenleiterbahn (10) mit der Stützeinrichtung (90) umfaßt, und

15

wobei die Stützeinrichtung (90) bei dem Schritt des Erzeugens der Ausnehmung (80) in der Ausnehmung (80) verbleibt.

20 15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 14, ferner mit einem Schritt des Auffüllens der Ausnehmung (80) mit einem Material, dessen Permittivitätszahl niedriger ist als die Permittivitätszahl der Dielektrikumschicht (60).

1/6

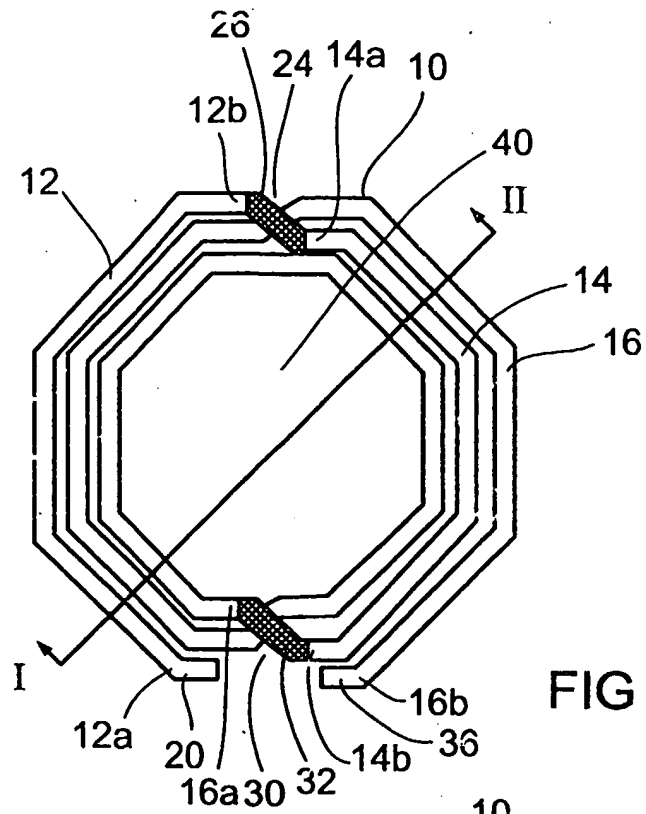


FIG 1

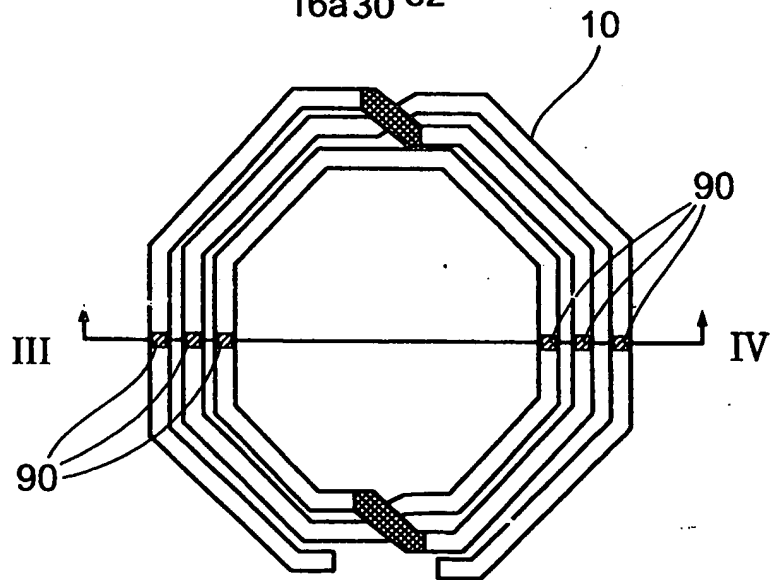


FIG 3

2/6

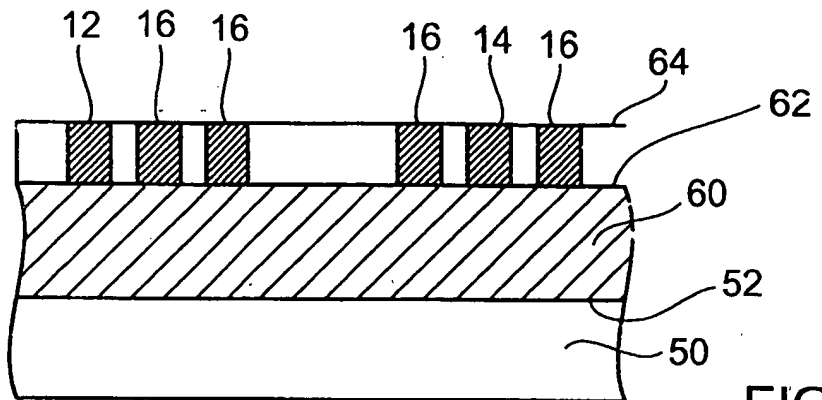


FIG 2A

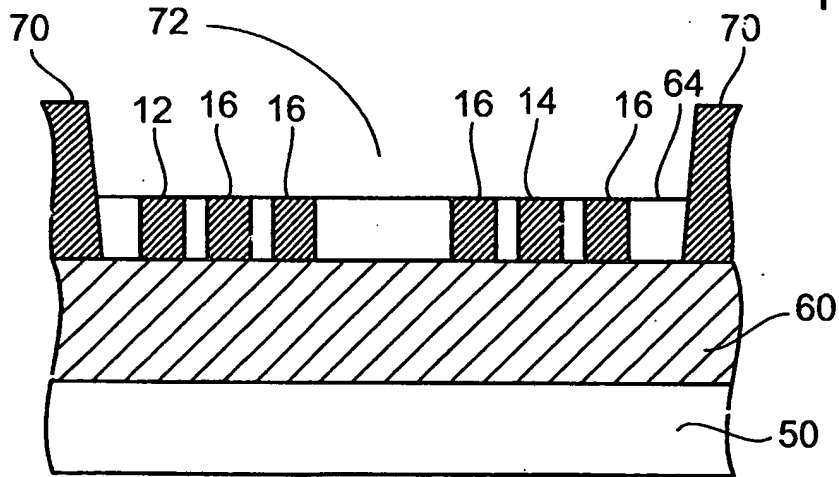


FIG 2B

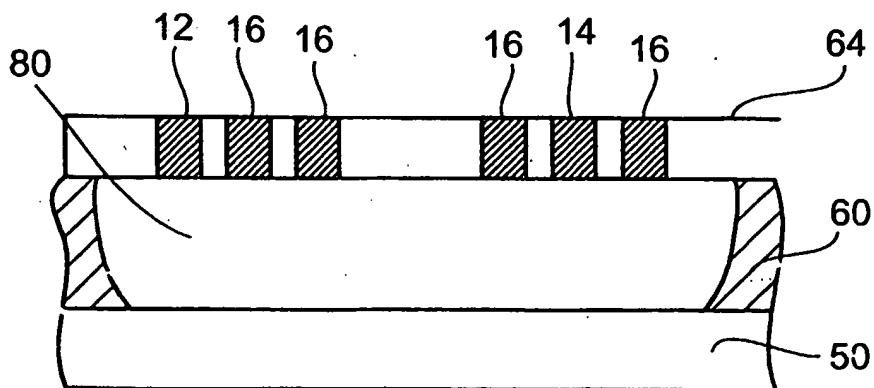


FIG 2C

3/6

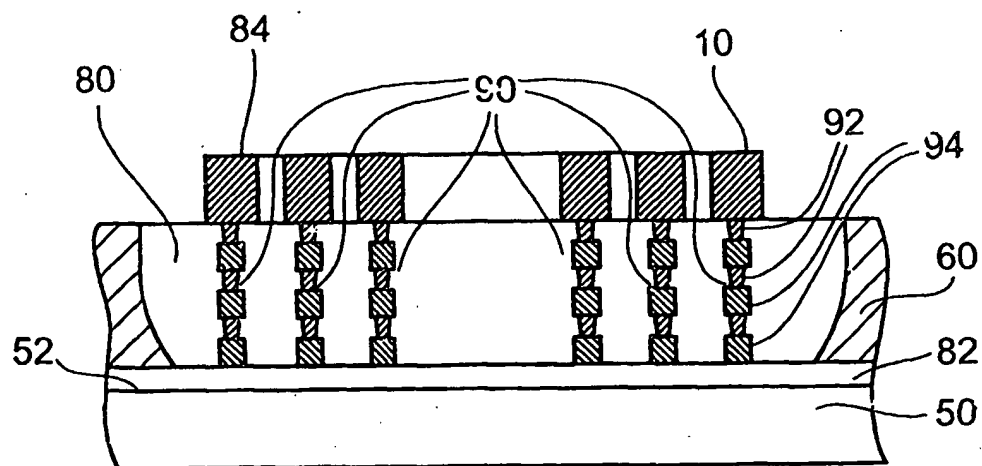
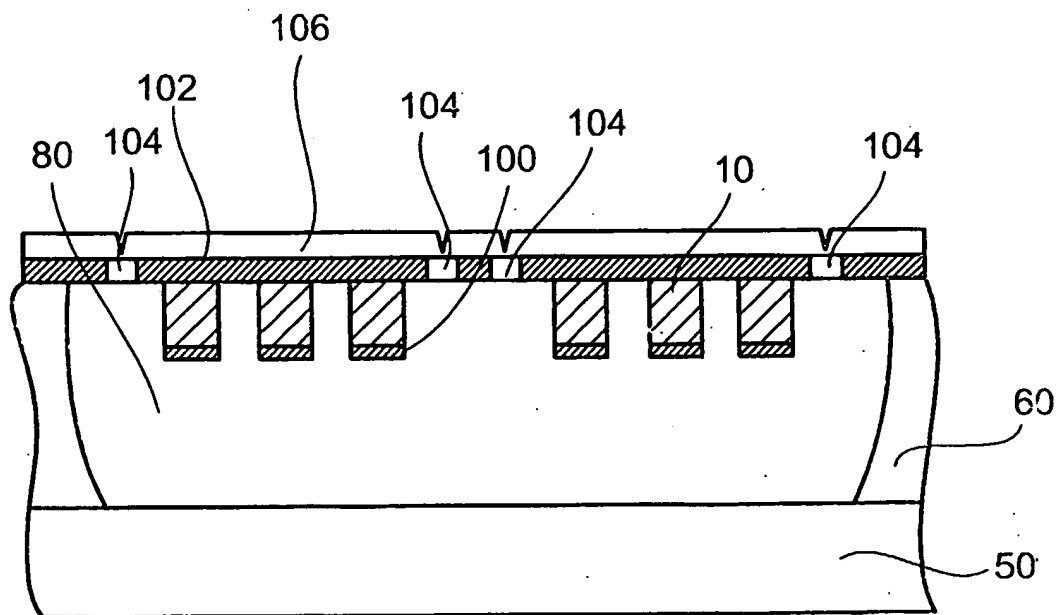
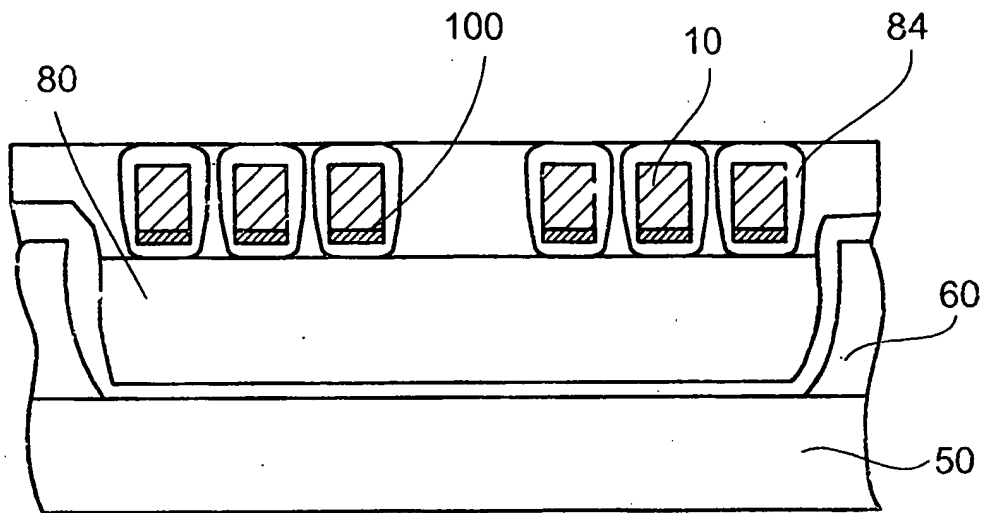


FIG 4

4/6



5/6

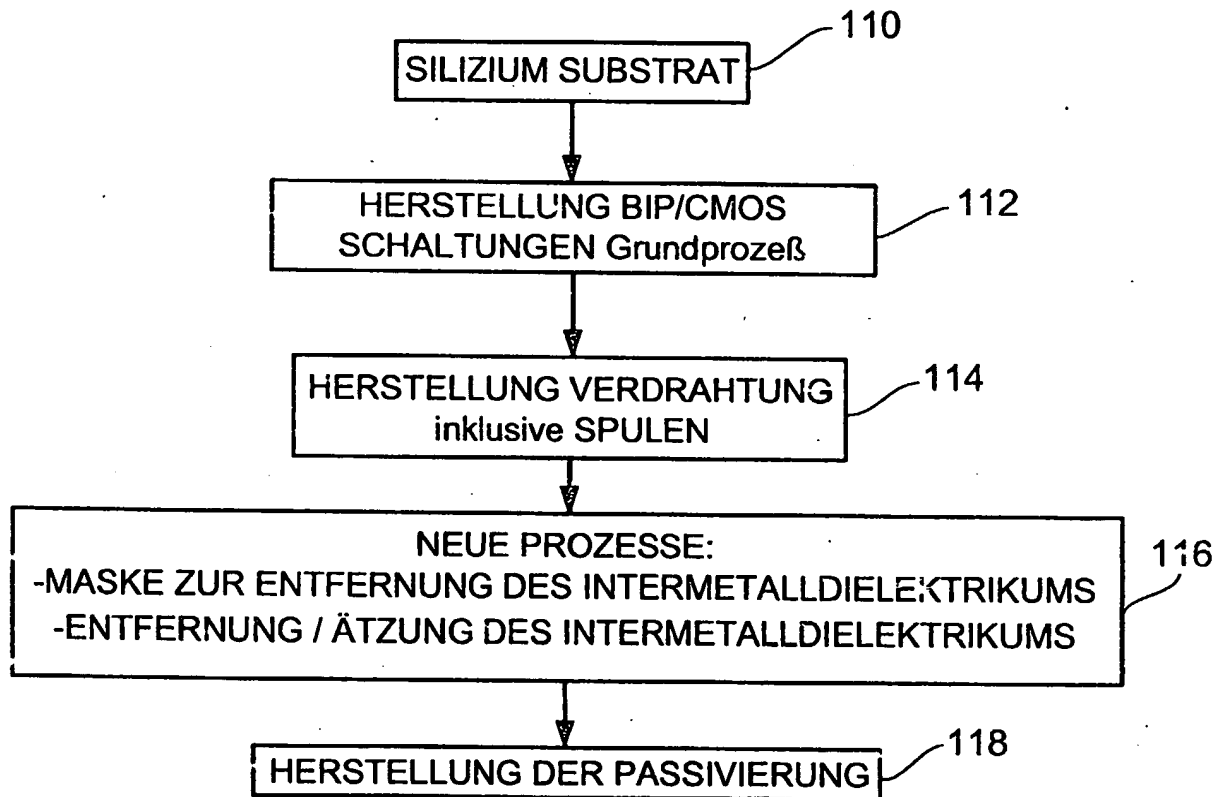


FIG 6

6/6

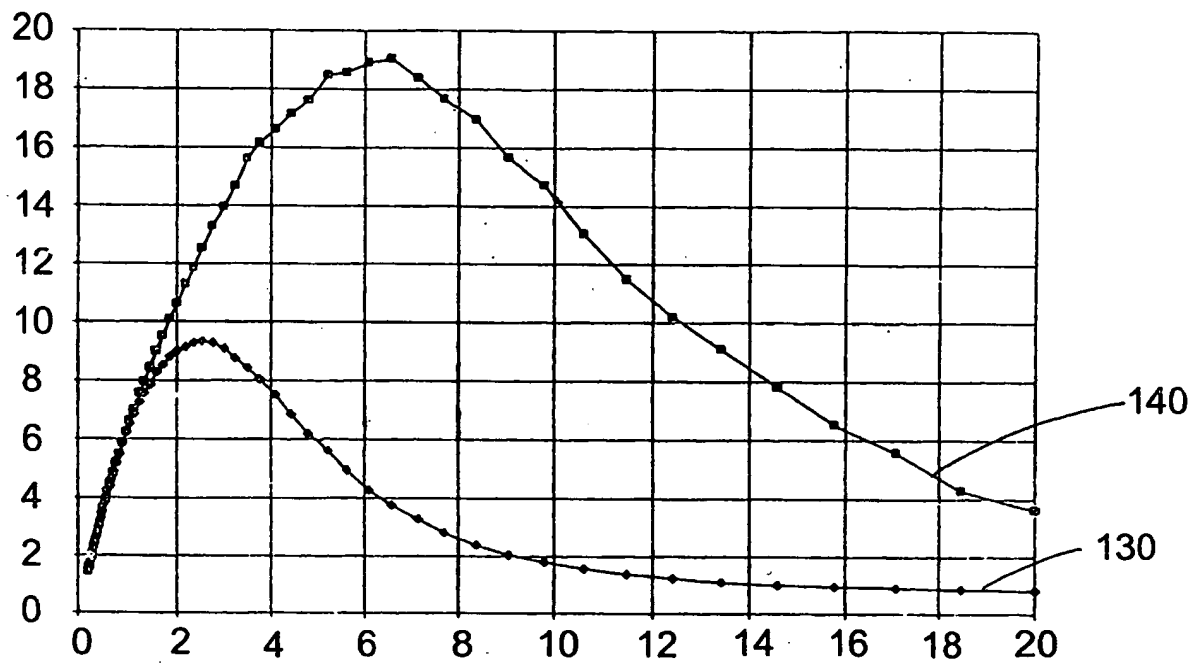


FIG 7

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H01F41/04 H01F17/00 H01L21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01F H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2001/016409 A1 (FARRAR PAUL A ET AL) 23 August 2001 (2001-08-23) page 32-45; figures 2,3 ---	1-3,8, 10-12, 14,15
X	EP 1 039 544 A (PLANHEAD SILMAG PHS ;MEMSCAP (FR)) 27 September 2000 (2000-09-27) page 53-91; figures 2,8 ---	1-4, 6-10,13, 14
X	US 2002/008301 A1 (LIOU PING ET AL) 24 January 2002 (2002-01-24) paragraphs '0022!-'0025!,'0030!; figures 3,4 paragraphs '0034!,'0035!; figures 5,6 --- -/--	1,2, 6-13,15



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 July 2003

Date of mailing of the international search report

11/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reder, M

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 140 197 A (CHEW KOK WAI JOHNNY ET AL) 31 October 2000 (2000-10-31) abstract; figures 1-5 column 2, line 45 -column 3, line 35 ---	1-4,6,8, 9
X	US 6 180 995 B1 (HEBERT FRANCOIS) 30 January 2001 (2001-01-30) abstract; figures 2,4,6,7 column 2, line 48-62 column 3, line 5-45 column 3, line 54 -column 4, line 2 ---	1,2,4,5, 7,8, 10-13
A	US 2001/028098 A1 (LIOU PING) 11 October 2001 (2001-10-11) abstract; figures 3-5 paragraphs '0030!-'0033! -----	1-3,7-14